DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA MODULAR DE SINTESE DE SONS COM CONTROLE AUTOMÁTICO POR COMPUTADOR

Eng.Guido Stolfi

E.P.U.S.P. 1979

" DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA MODULAR DE SÍNTESE DE SONS COM CONTROLE AUTOMÁTICO POR COMPUTADOR "

ENG. GUIDO STOLFI

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho serà descrito um sintetizador constituído de blocos funcionais que executam funções básicas e que podem ser interligados de maneiras diferentes, para permitir o contrôle de parâmetros sonoros, tais como: altura, intensidade, timbre, envoltórias, etc.

O controle dos parâmetros pode ser feito manualmente e/ou automáticamente usando um computador digital.

Serão descritos também os processos de controle automático, que compreendem:

a) " Hardware " : interfaces entre os módulos do sintetizador e um computador digital, e interface de sincronismo para gravação múltipla por superposição.

b) " Software " de controle : possibilita a codificação de parâmetros sonoros, como os constantes de uma partitura musical, gerando comandos para controle em tempo real do sintetizador.

c) " Software " de apoio : programas de análise de espectro e otimização de formas de onda, para síntese de timbres; pequenos programas de composição de música aleatória.

Este sistema foi implementado entre 1975 e 1978 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como atividade de pesquisa em síntese de sons musicais e fonemas.

TRABALHO APRESENTADO NO 1. CONGRESSO BRASILEIRO DE ACÚSTICA EM 20/02/79 - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - CURITIBA.

II. ELEMENTOS BÁSICOS DE SÍNTESE DE SONS

Um sintetizador é um aparelho ou um sistema que permite sintetizar um som a partir da especificação de seus parâmetros fundamentais, que são básicamente:

- altura (correspondente à frequência do som fundamental emitido

- intensidade (nível sonoro)

- timbre (correspondente à distribuição espectral

- tempo (duração do evento, e temporização entre diversos eventos relacionados entre si)

e também através da variação controlada desses parâmetros no tempo, ou seja:

- envoltória de intensidade (ataque, decaimento, formato da envoltória em sons transitórios)
- tremolo (flutuação periódica da intensidade)
- vibrato (flutuação periódica da frequência)
- portamento (passagem contínua de uma frequência a outra)
- modulação de formantes (flutuações periódicas ou transitórias do espectro, articulação). etc

Um sintetizador possui, então, BLOCOS PROCESSADORES, que atuam sobre os parâmetros do som gerado; e BLOCOS GERADORES que geram os sinais (contínuos, transitórios, ou sequências temporais) correspondentes aos valores dos parâmetros desejados.

III. CARACTERÍSTICAS DO SINTETIZADOR DESENVOLVIDO

O sintetizador aqui descrito (fig.1) é um instrumento modular, o que significa que seus blocos processadores e geradores tem suas entradas e saídas interligáveis de muitas maneiras, permitindo grande flexibilidade no controle; além disso, o sistema pode ser ampliado pela simples introdução de novos módulos.

O controle de quase todos os parâmetros sonoros é feito por voltagem, ou seja, um bloco controlador (gerador de envoltória, oscilador de baixa frequência, potenciômetro, etc.) gera uma voltagem proporcional ao valor do parâmetro sonoro que se deseja ajustar, e essa voltagem gerada é conectada a uma entrada de contrôle de um bloco processador, que influi sobre um parâmetro específico do sinal (amplitude, frequência, etc.)

Na construção dos blocos, procurou-se compatibilizar ao máximo as entradas e saídas, de modo que em princípio qualquer saída pode ser conectada em qualquer entrada analógica de qualquer bloco funcional.

A relação entre a voltagem de controle e o valor resultante do parâmetro controlado segue geralmente uma lei exponencial, o que permite cobrir uma faixa de variação de mais de 3 décadas no valor do parâmetro (frequência de oscilação, frequência de corte de filtros, ganho de amplificadores, tempos de duração de envoltórias) mantendo sempre uma relação linear entre a voltagem de controle e a sensação sonora resultante (o ouvido humano possui uma característica logarítmica entre estímulo e sensação).

As principais exceções a essa filosofia de controle por tensão são os blocos de geração de timbre e geração de altura, cujo controle é digital. Isso permite uma definição muito mais precisa da frequência fundamental do som gerado e especialmente do timbre produzido, pois a forma de onda pode ser especificada, ao contrário do que ocorre com a maioria dos sintetizadores conhecidos, que geram timbres por filtragem seletiva de formas de onda básicas de alto conteúdo harmônico. (síntese substrativa)

O sistema implementado é fundamentalmente monofônico; a polifonia pode ser realizada superpondo-se gravaçõs distintas sincronizadas entre si: Essa tarefa é grandemente e facilitada pela principal característica do sistema, que é o controle através de computador de todos os parâmetros ajustáveis.

A filosofia fundamental no projeto dos circuitos do sintetizador foi a de suportar o comando por computador. Dessa forma, a frequência, a forma de onda, o chaveamento e outros parâmetros do sinal gerado podem ser controlados tanto manualmente como por comando direto, em tempo real, do computador.

IV. DESCRIÇÃO DOS BLOCOS FUNCIONAIS

Detalharemos a seguir os principais módulos constituintes do sintetizador, discutindo as diferenças básicas com relação a outros sintetizadores.

a) OSCILADOR MESTRE (fig.2): Este bloco gera uma frequência de referência, proporcional à altura do som desejado; esta frequência é utilizada pelo GERADOR DE TIMBRES para produzir o som na frequência desejada.

Nos sintetizadores convencionais, a altura (frequência) é definida por uma tensão, o que exige grande precisão e estabilidade dos circuitos osciladores, exigindo temperaturas controladas ou calibrações periódicas. No nosso caso, optamos por uma série de 12 osciladores de referência, bastante estáveis, cujas frequências são selecionadas e divididas digitalmente de modo a obtermos as 120 notas da escala temperada, cobrindo a faixa audível, de 16,35 Hz a 15,8043 KHz.

A escolha da frequência pode ser feita através de um teclado manual de 49 teclas, transponível em 7 oitavas, ou pelo computador.

O módulo fornece ainda sinais digitais de gatilho para disparar o GERADOR DE ENVOLTÓRIAS, quando do acionamento de alguma nota.

Uma entrada externa de VIBRATO permite alterar a frequência de cada nota dentro de +- 5% do seu valor nominal.

b) CIRCUITO DE PORTAMENTO (fig.3) : para obtermos variações de frequência com passagem gradual de uma nota para outra (portamento), e para termos todos os recursos de um V.C.O. (Voltage Controlled Oscilador) convencional, sem perder a estabilidade de frequência proporcionada pelo OSCILADOR MESTRE, este bloco possui um oscilador controlado por tensão com característica de controle exponencial, capaz de cobrir uma faixa de 6 décadas, ligado à um comparador de fase, que, dentro de um intervalo de tempo ajustável, sincroniza a frequência do V.C.O. com a do OSCILADOR MESTRE. O tempo de sincronização (que é também controlado por voltagem) pode ser ajustado desde alguns milissegundos até alguns minutos.

Além disso, este módulo gera uma tensão proporcional à altura da nota gerada, tensão esta que pode ser usada para controlar filtros, tempos de decaimento, etc.

c) GERADOR DE TIMBRE (fig.4) : A frequência de referência, gerada no OSCILADOR MESTRE, ou reproduzida no CIRCUITO DE PORTAMENTO, é aplicada a êste bloco, que produz na sua saída um sinal na faixa audível, cuja forma de onda é especificada ou por um painel de 16 chaves deslizantes (no qual a forma de um semi-ciclo é desenhada) ou então por instrução direta do computador (enquanto que nos sintetizadores convencionais, dispomos apenas de algumas formas de onda básica: triangular, senoidal, dente-de-serra e pulso, e a diversidade de timbres é obtida por filtragem).

Este módulo permite obter até 2 formas de onda diferentes, gerando uma função impar com contrôle até a 16a. harmônica da frequência fundamental.

As formas de onda podem ser armazenadas em MEMÓRIAS DE TIMBRE, acessíveis tanto manualmente como através do computador.

d) FILTROS CONTROLADOS POR TENSÃO : Estes módulos realizam a função de um filtro passa-baixas de 1a. ordem, cuja frequência de corte é definida por uma voltagem aplicada externamente. Mediante interligações de dois ou mais filtros e de multiplicadores, podem realizar filtros ressonantes, passa-altas, etc., de ordem superior, onde todos os coeficientes de respectiva função de transferência podem ser controlados por tensão. (fig.5)

e) INTERFACE DE SINCRONISMO : Este bloco opera em dois modos: no primeiro (1a. gravação), ele gera um sinal de 1 KHz, que é enviado ao computador (onde é usado para temporizar o envio de camandos ao sintetizador) e a um canal de um gravador de fita, onde é gravado, simultaneamente com o sinal gerado pelo sintetizador. No segundo modo (2a. gravação), este bloco recupera o sinal de 1 KHz gravado na fita, e o envia ao computador.

Desta forma, pode-se fazer gravações superpostas, de muitas vozes e de longa duração, mantendo perfeito sincronismo entre as várias vozes.

f) CONVERSORES DIGITAL-ANALÓGICO : Estes blocos servem de interfaceamento entre o computador e os blocos que não são controláveis digitalmente, como filtros, multiplicadores, etc. Sua tensão de saída varia de 0 a 5 V em 256 incrementos.

g) GERADORES DE ENVOLTÓRIA : estes módulos geram pulsos trapezoidais, de tempo de subida e tempo de descida controláveis independentemente, e com tempo de duração definido ou pela duração do sinal de gatilho (que inicia a emissão do pulso) ou por uma voltagem externa. Ao contrário do que acontece com a maioria dos sintetizadores, os tempos de subida, descida e duração são todos controlados por tensão, numa faixa de 3ms a 30s de duração.

Outros módulos, semelhantes aos convencionais, são:

h) GERADOR DE RUÍDO : Baseado num gerador digital de sequencia máxima, produz ruído branco nas faixas de até 20 KHz, 30 Hz, 10 Hz, 3 Hz, 1 Hz e 0,3 Hz.
Os ruídos de baixa frequência são usados para introduzir flutuações aleatórias em outro parâmetro do som.

i) AMPLIFICADOR CONTROLADO (VCA - Voltage Controlled Amplifier) : Controla a atenuação de um sinal de áudio por uma tensão externa. Sua característica de contrôle é exponencial, e a faixa aproximada é de 0 a -80 dB.

j) MODULADOR BALANCEADO (Ring Modulator) : É um multiplicador analógico de 4 quadrantes, linear.

k) REVERBERADOR : Possui uma unidade reverberadora de mola, dupla, do tipo convencional.

IV. CONTROLE AUTOMÁTICO

O computador, no sistema, realiza 2 funções: a função de controlador, em tempo real, do sintetizador, na qual envia a êste comandos e dados em instantes determinados conforme um sinal de sincronismo; e a função de compilador, na qual o computador gera uma sequencia de intervalos de tempo e respectivos comandos, para posterior execução, a partir de uma codificação da música ou do evento sonoro.

A base de tempo para o programa controlador é dada pelo sinal de 1 KHz proveniente da INTERFACE DE SINCRONISMO do sintetizador (fig.6). Os ciclos deste sinal são contados (por interrupção no programa) e o valor totalizado é comparado com intervalo de tempo correspondente ao do envio do próximo comando. Quando os valores forem iguais, o computador envia (em série, a 12,5 Kbits/s) uma palavra de comando de 8 bits (de 0 a 256) que identifica qual o módulo do sintetizador que está sendo endereçado, e um dado de 8 bits, que corresponde ao valor do parâmetro a ser alterado. Por exemplo, o comando correspondente à " nota " (afetando a frequência) é 00000000, e o dado correspondente a um " si bemol da oitava 3 " é 00111010.

O programa compilador prepara uma sequência de tempos, camandos e dados, que pode ser perfurada em fita de papel (para posterior leitura pelo programa controlador) ou armazenada na memória para execução imediata.

Existem duas versões do programa compilador: o COMPILADOR DE PARTITURAS e o COMPILADOR RÁPIDO. O primeiro é voltado para a tradução mais direta possível dos símbolos constantes de uma partitura musical, como ligaduras, tonalidades, compassos, "staccattos", etc., identificando cada nota pelo seu nome usual. A codificação a ser digitada pelo usuário, correspondente a um trecho musical, está exemplificada na figura 7.

O COMPILADOR RÁPIDO possui uma linguagem mais sintética, que exige menor esforço para codificação e permite maior flexibilidade (como repetições de trechos) no controle, embora seja de mais difícil assimilação. Nela os comandos e os respectivos dados são escritos com base hexadecimal (com notação modificada) e os comandos a nível de sistema (pseudo-comandos), como repetições, alterações de tempo, inserção automática de pausas entre as notas,são identificados por caracteres especiais. A codificação do mesmo trecho musical do exemplo anterior é mostrada na figura 8.

VI. SOFTWARE DE APOIO

Existem, anexos ao sistema descrito, programas de apoio, entre os quais:

a) SÍNTESE DE FOURIER : dadas as amplitudes dos componentes harmônicos de um som, o programa otimiza a forma de onda em função das características de quantização e amostragem do GERADOR DE TIMBRES, indicando a posição das chaves correspondentes ao som desejado.

b) OSCILOSCÓPIO DIGITAL : Através de um conversor analógico-digital, este programa digitaliza um trecho de um som qualquer, armazena-o na memória do computador, e converte nóvamente em tensão (através de um conversor digital-analógico), cíclicamente, uma parcela desse trecho (selecionável pelo painel do computador). Isto permite observar e analisar a forma de onda de ciclos isolados ao longo do trecho.

c) ANALISADOR DE FOURIER : Este programa opera sobre os dados digitalizados pelo programa anterior, efetuando a Transformada Rápida de Fourier (FFT) de pequenos segmentos do sinal (aproximadamente 1,5 ms de cada vez), em sequência, fornecendo um "display" do espectro do sinal ao longo do tempo. (Amplitude X Frequência X Tempo).

d) MÚSICA ALEATÓRIA POR TABELAS : Este programa gera notas aleatóriamente, sendo que as distribuições estatísticas das notas, dos tempos e das oitavas são determinadas por tabelas de probabilidade relativas a cada evento, definidas pelo usuário. A correlação entre o valor dos tempos de notas consecutivas pode também ser especificada. Este programa controla o sintetizador em tempo real.

Os programas foram escritos em Assembler para o computador utilizado, um HEWLETT-PACKARD 21MX, à exeção do "Compilador de Partituras", que foi escrito para o computador "PATO" do Laboratório de Sistemas Digitais da EPUSP.
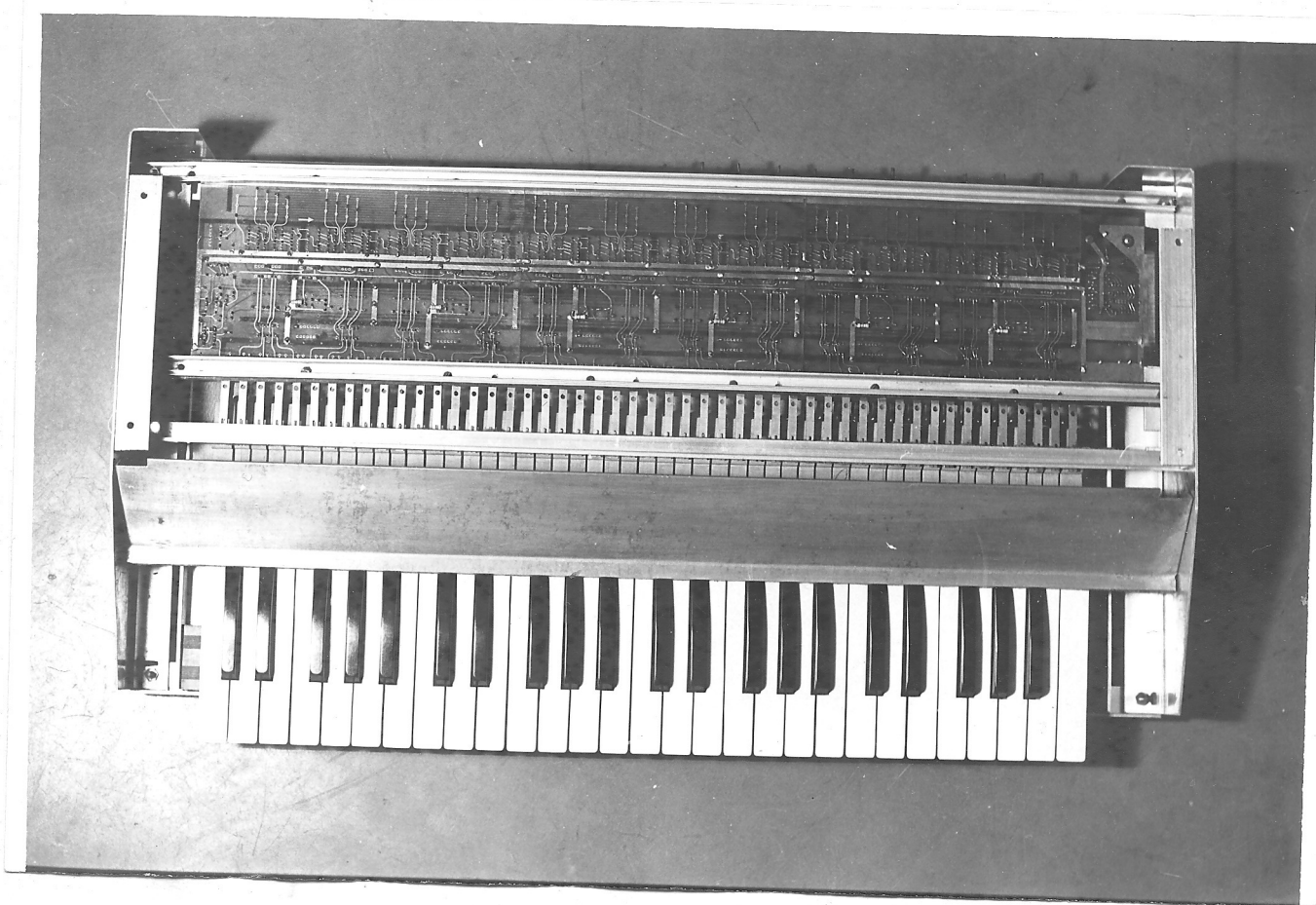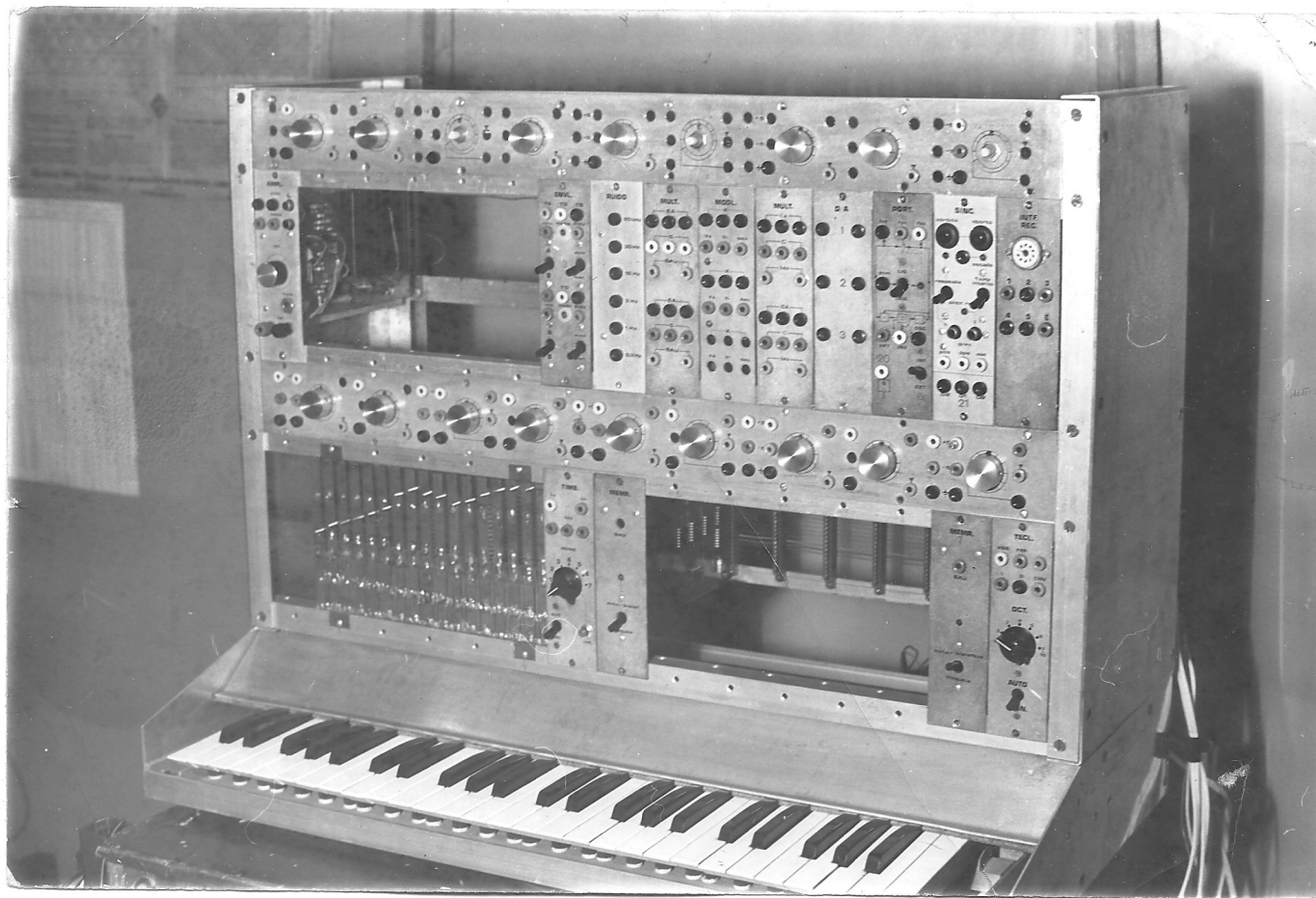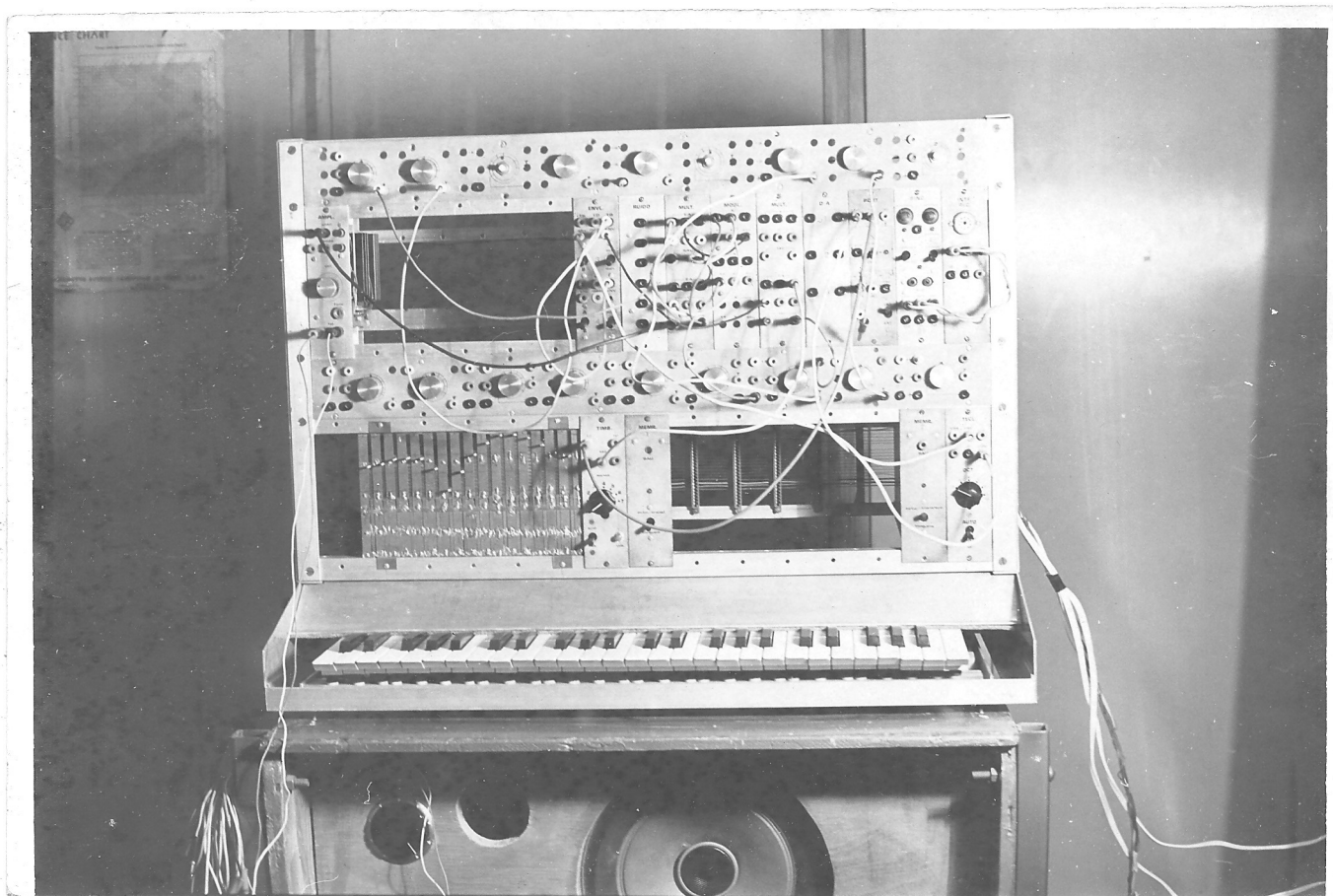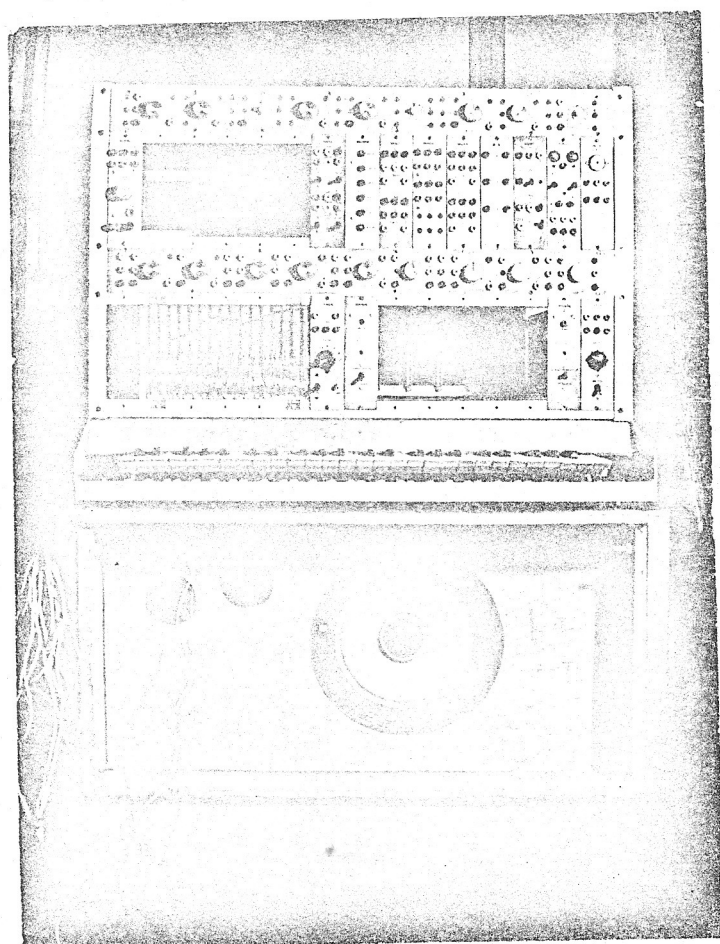
Fig.1 - Sintetizador de Sons Modular
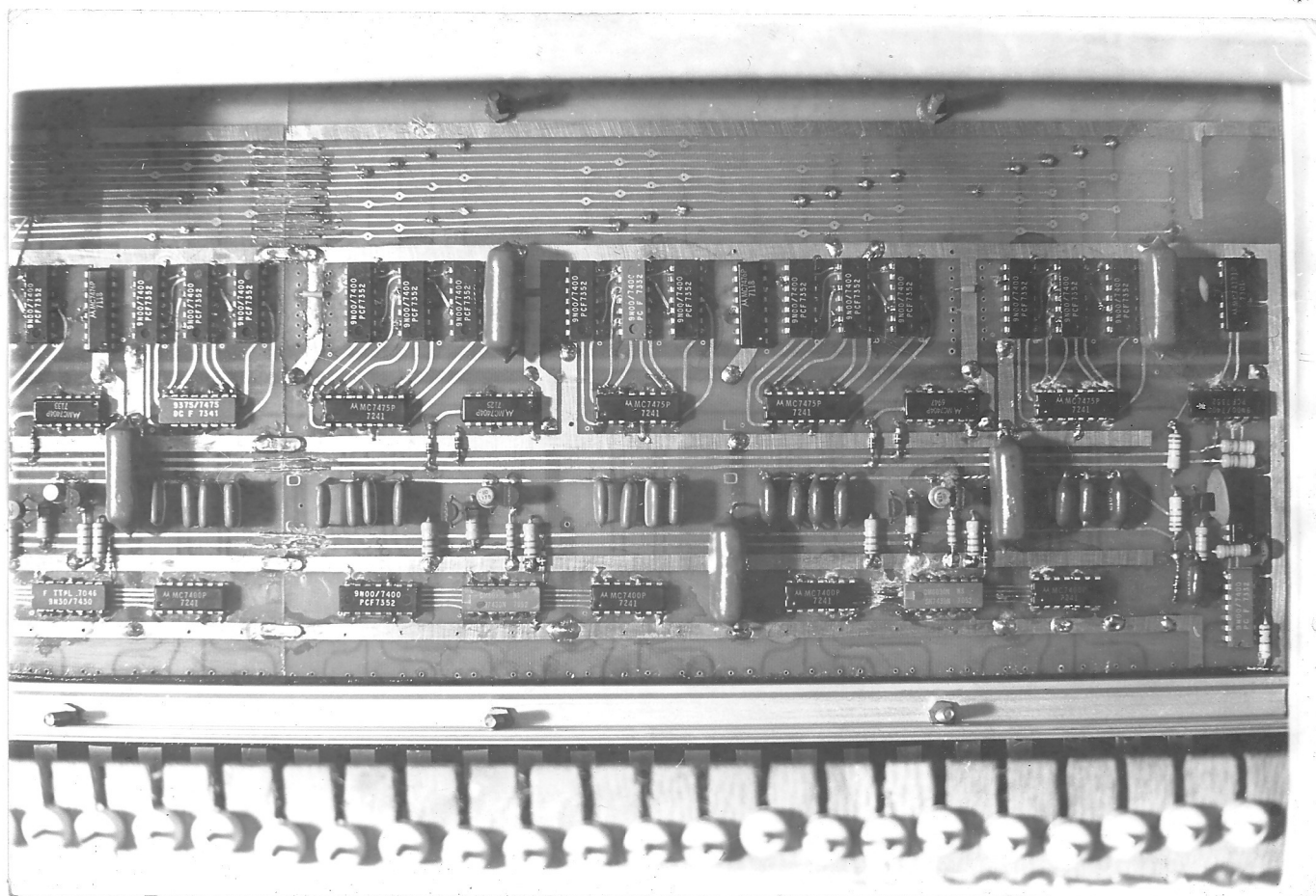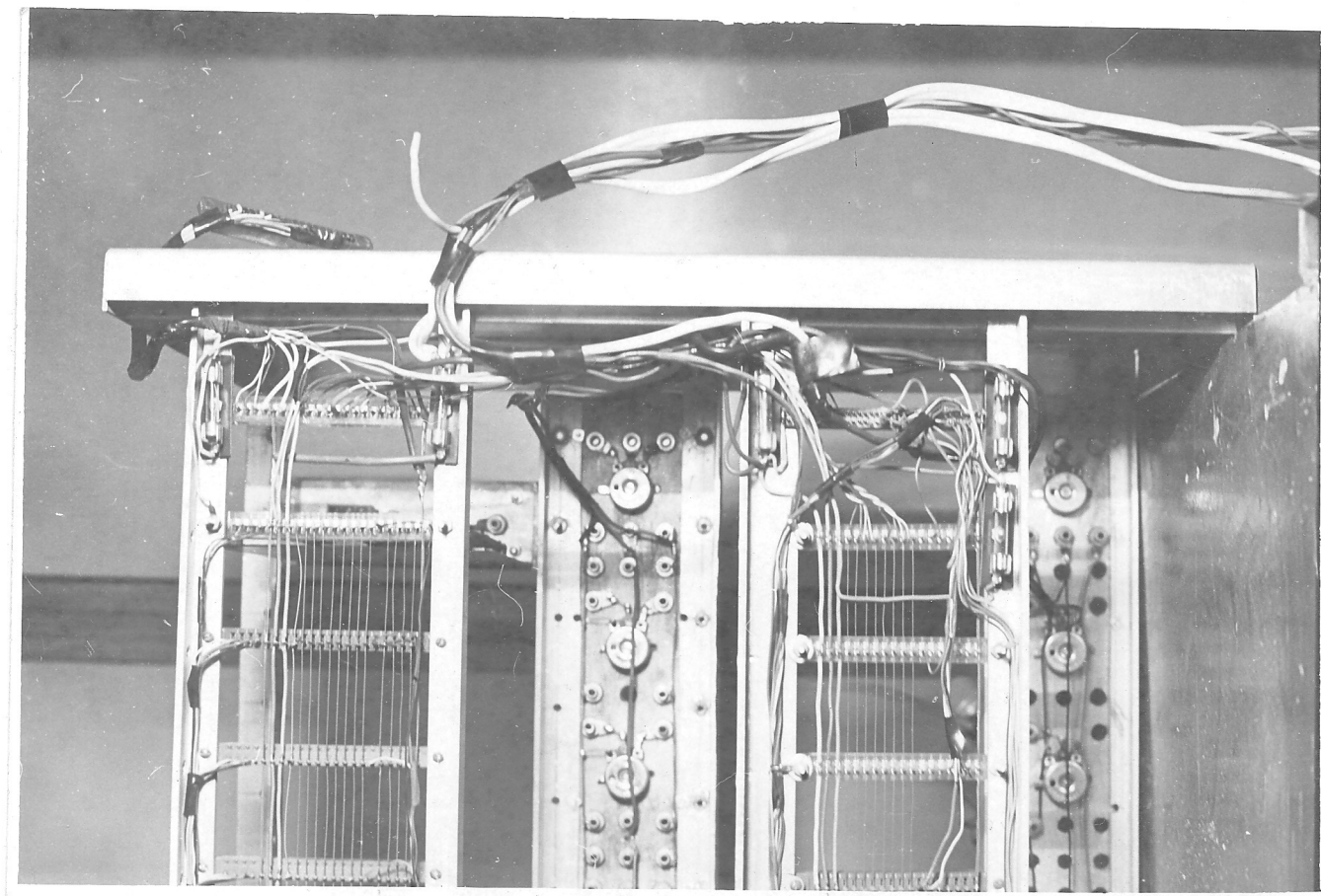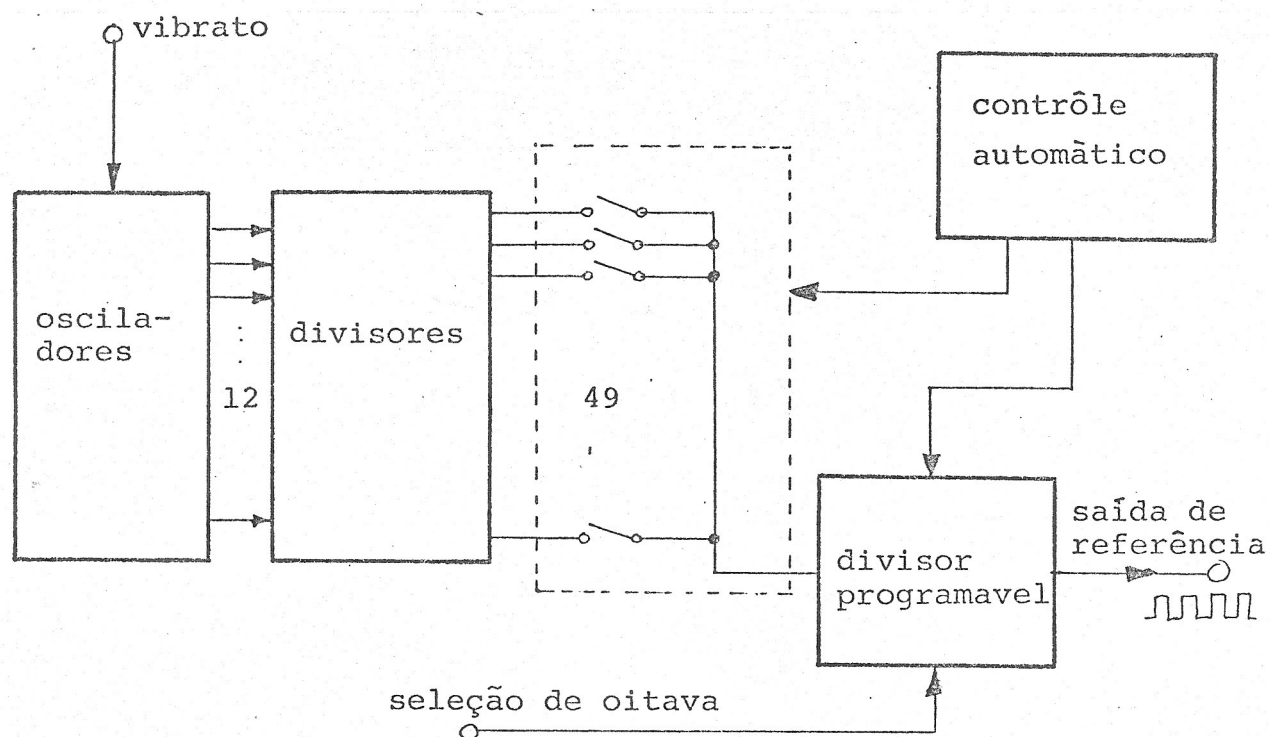
Fig.2 - Circuito do Teclado e Oscilador de Referencia
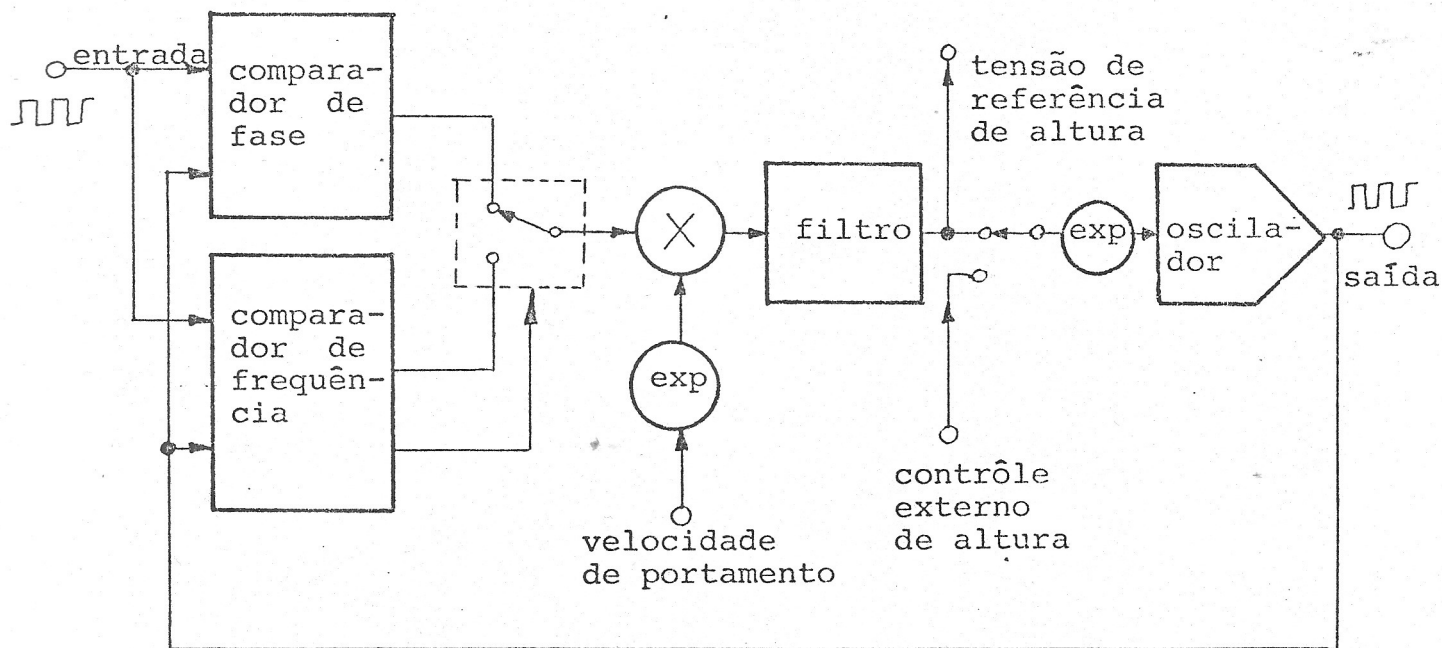
Fig.3 - Circuito de Portamento
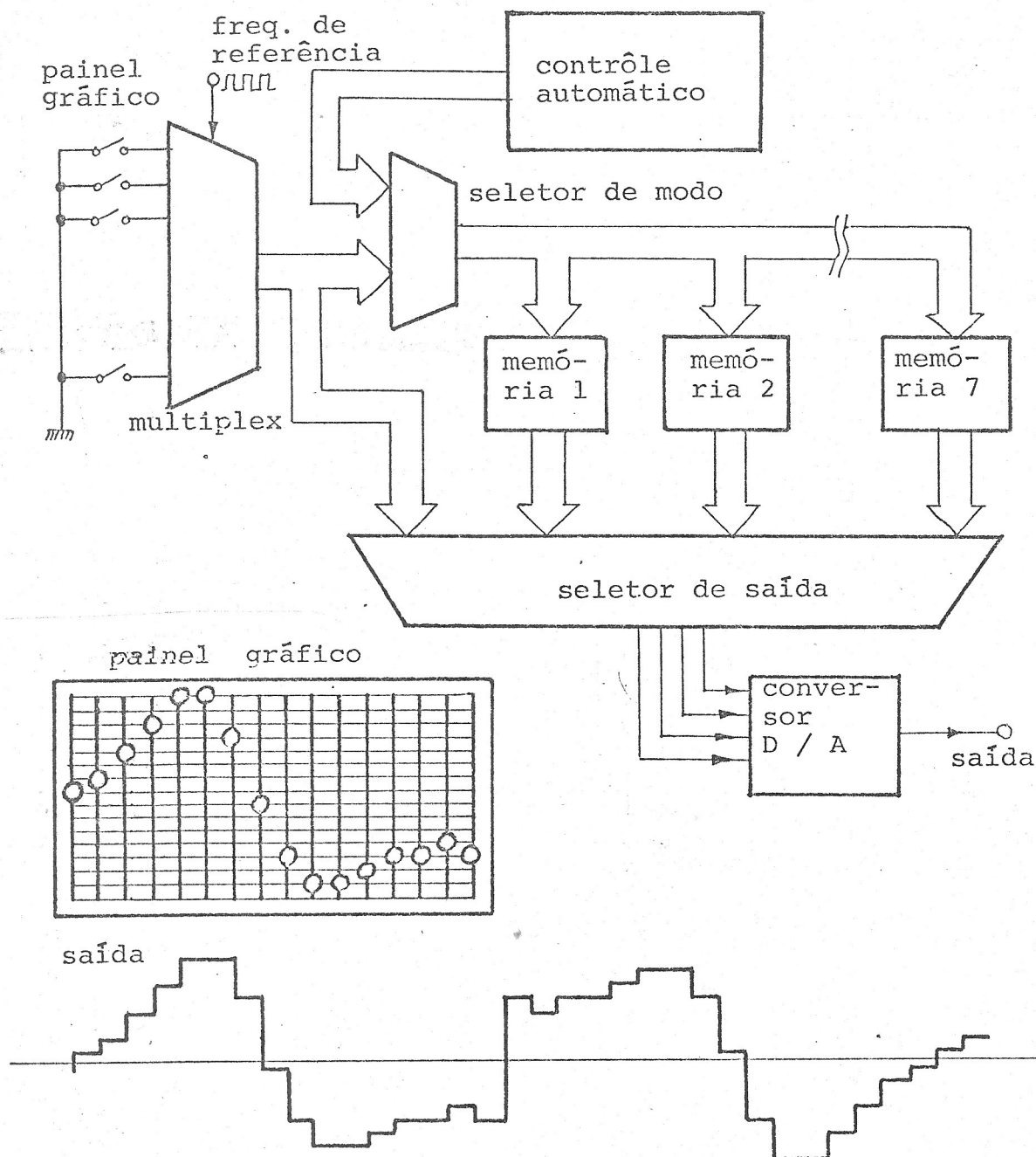
Fig.4 - Gerador de Timbres

FILTRO DE 1a. ORDEM

x

C

saída

y

exp

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{-1}{\frac{s}{w_o} + 1}$$

$$w_o = k_1 \cdot \exp(k_2 \cdot C)$$

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{bs^2+s(2b-ab-c)+b-c+d}{s^2+s(2-a)+1}$$
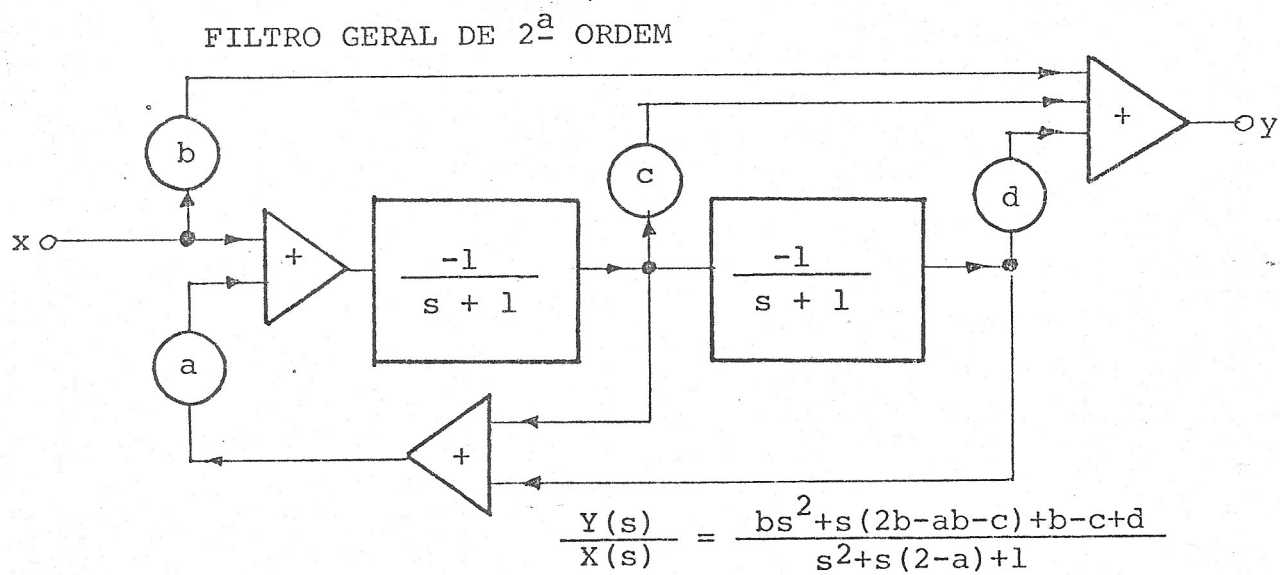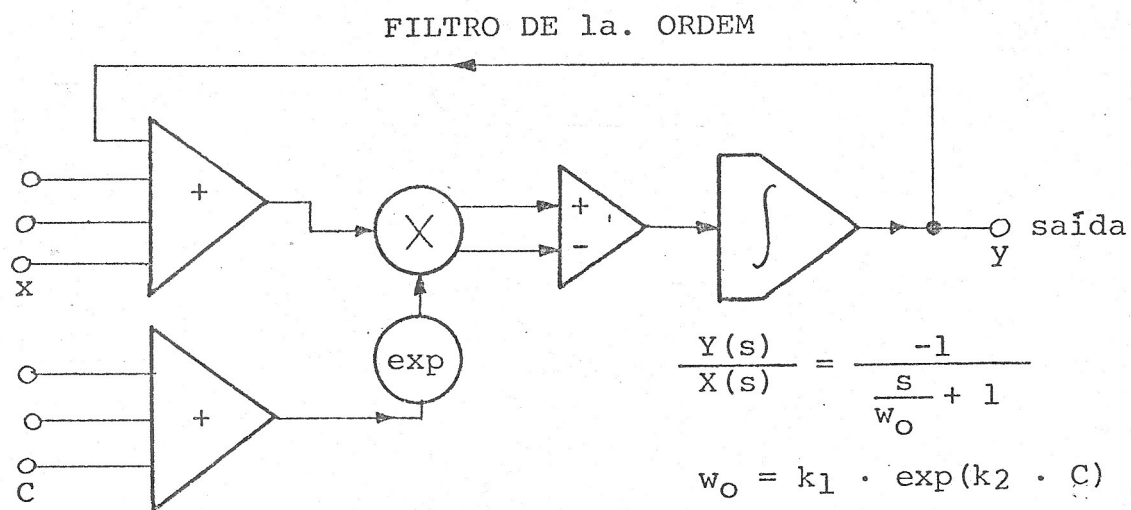
Fig.5 - Filtro Controlado por Tensão
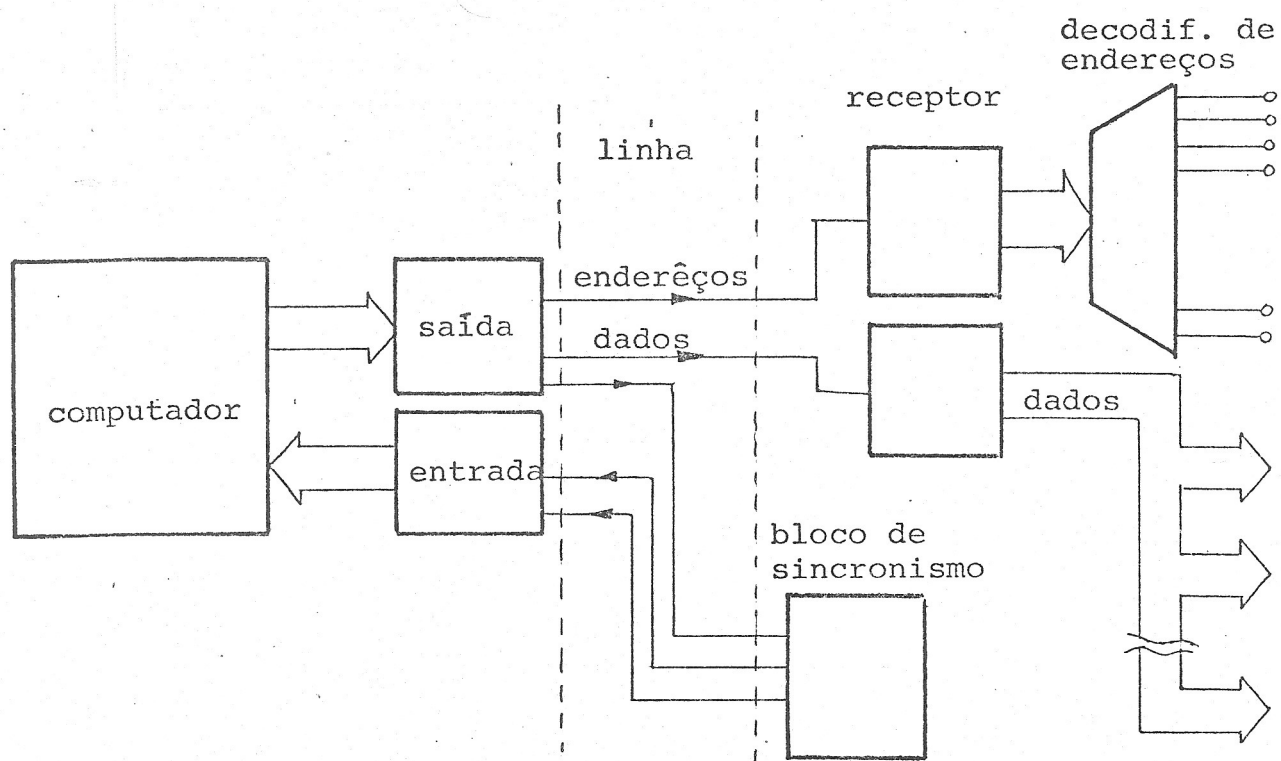
Fig.6 - Interface de Comando por Computador

```
*EXEMPLO DE CODIFICACAO
GRAVA,1
TEMPO,19,-3
COMP,3,4,96
TOM,DO,(
1,Ø,DO,-4
1,Ø,TIMBRE,Ø1AB2CFØ12ØØ178F
1,Ø,GRTMB,1
1,Ø,LETMB,1
1,Ø,INT,12Ø
CSTAC,8
1,64,DO,4,32
FSTAC
1,93,INT,1ØØ
CLIGP
2,Ø,FA,4,24
2,21,INT,9Ø
FLIGP
2,24,LA,4,8
2,3Ø,INT,8Ø
2,32,DO,5,48
2,8Ø,PAUSA
FIM
```

Fig.7 - Codificador de PErtituras

```
*EXEMPLO DE CODIFICACAO
13%,ØT,ØP,K3Ø
136,2Ø3,3Ø6,4Ø5,53J,645,752,88M
9Ø1,JØ1,K3Ø,L78
4ØT,3Ø,4T,K3M
1LT,L64,35,18T,L5J,38
8T,L5Ø,4Ø,3ØT,K4M
!
```

Fig.8 - Codificação pelo Compilador Rápido